第4章

製造効率，信頼性，コストを考慮した設計で
競合に勝つ！

実装ラインと相性の良いプリント基板を設計するテクニック 12連発

坂田 秀幸

従来，回路設計者は，回路の性能を100％引き出せる配線パターンを設計することが仕事のひとつであり，評価の対象であった．しかし，ディジタル化が加速した現在，プリント配線板そのものの性能が保たれていることは当たり前となりつつある．そこで次に回路設計者に求められる付加価値は，製造効率や信頼性の高いプリント配線板を作ることである．　（編集部）

近年，高速インターフェースを持ったFPGA（field programmable gate array）や，DDR（double data rate），DDR2といった高速バスを使用するメモリなどの普及によって，データ通信の高速化に拍車がかかっています．当然，高速信号に対応したプリント配線板設計が必要になってきますが，昔に比べデバイス自体が非常に安定して動作するようになってきたため，基本さえ押さえていれば，問題なくプリント配線板を設計できます．

ここでは，次のステップとして，製造ラインにおける信頼性や実装効率が良いプリント配線板を設計するテクニックについて，解説します．

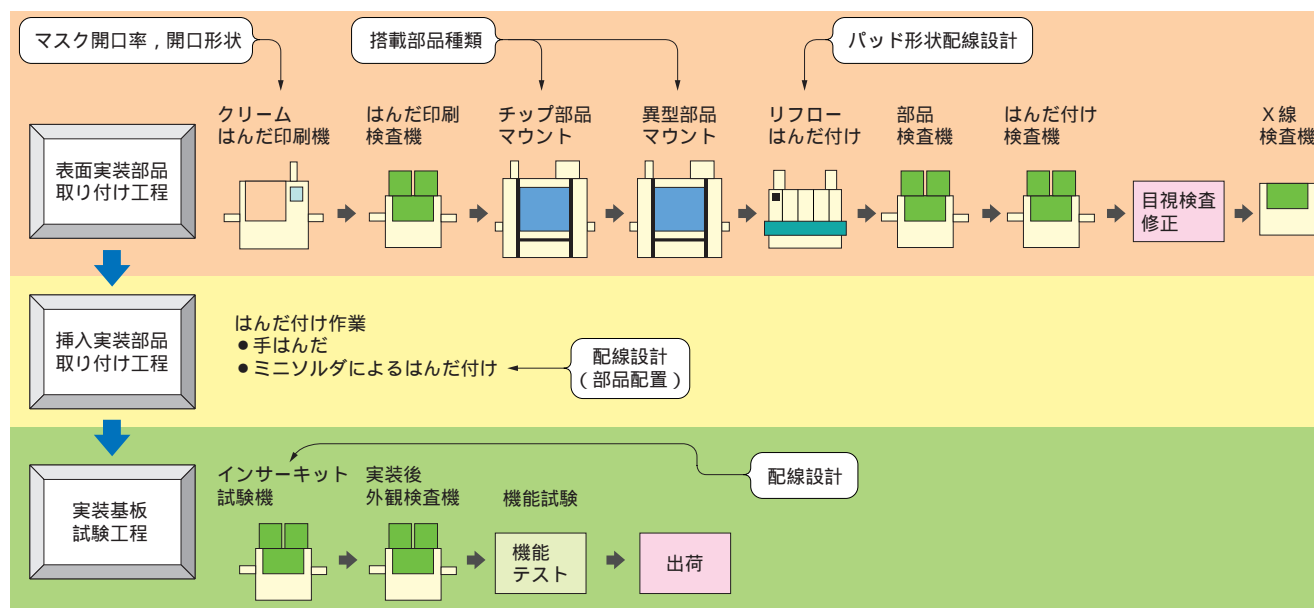



図1　両面リフローで部品を実装する場合の工程
図中の吹き出しは，本文中で紹介する項目．

KeyWord
配線板の経済寸法，ワーク・サイズ，メタル・マスク，開口率，マウンタ，リフローはんだ付け，パッド形状，はんだ付け検査，インサーキット・テスタ，リペア，ミニソルダ

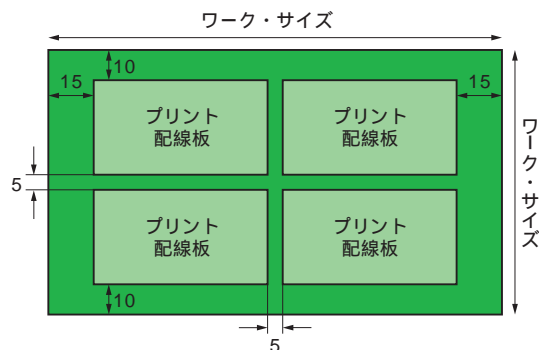



図2　プリント配線板のワーク・サイズ
捨て基板を少なくするには経済寸法でプリント配線板を製作する．

図3　1枚のプリント配線板に配置した子基板
むやみに子基板を並べて配置し，多面取りしてしまうと，後から実装に手間がかかって，かえってコストが掛かることもある．

図4
部品の下に放熱兼グラウンド・パッドがある
水色部分がはんだが塗られる箇所で，赤い小さな丸はスルー・ホール．

1 部品実装の前段階

図1に両面リフローで部品を実装する場合の工程，いわゆる実装ラインの例を示します．実際に部品の実装現場を見たことがない人も多いと思いますが，これだけの装置や工程が連なって部品は実装されていきます．それぞれのセクションでは，技術的な制限や機械の外形，能力による制限を持っています．

テクニック1 実装機の持つ実装限界サイズや固有の制限項目を知るべし

ある程度の枚数を製作するプリント配線板においては，プリント配線板単価を下げる目的で，プリント配線板メーカのワーク・サイズを調べて，効率良くプリント配線板を取り出せるサイズを検討したり(図2)，1枚のプリント配線板でできるだけ多くの子基板を配置する方法(図3)を検討したりすると思います．その際に，実装設備の実装限界サイズも忘れてはいけません．

実装設備には必ず実装限界サイズが存在します．いくらプリント配線板単価が安くなるからといって，むやみに子基板を並べて配置し，多面取りしてしまうと，後から実装に手間がかかって，かえってコストが掛かるという事態にもなりかねません．また，プリント配線板をつかむための穴やレール部分などで，部品配置が禁止されるエリアも存在します．これらはすべて実装機が持っている固有の制限項目であり，当然，実装会社によって違ってきます．

テクニック2 メタル・マスクの開口率や形状は実装品質に大きく影響する

プリント配線板にクリームはんだを塗布する工程では，はんだを付けたい部分に対して，穴が開いたステンレスの薄板(メタル・マスク)をかぶせて，その上からクリームはんだを塗布する孔版印刷(スクリーン印刷)を行います．このメタル・マスクの開口率(開口面積)と開口形状は，部品の実装品質に多大な影響を与える要因の一つです．

有鉛はんだ付けと鉛フリーはんだ付けでは，開口率を替えて実装するのが一般的で，その値は各製造会社で独自の数字(ノウハウ)を持っています．また，部品によってはパッドの形状に合わせてはんだを塗布するのではなく，個別に開口の形状を変えたりします．

例えば図4のように，部品の下に放熱兼グラウンド・パッドがあるような部品は，実装が困難です．図中の水色部分がはんだが塗られる箇所で，赤い小さな丸はスルー・ホールです．放熱兼グラウンド・パッド全体に対して，はんだが塗られる形状にはなっていません．このような部品の場合，パッドと同じサイズではんだを塗ってしまうと，はんだを溶かしたときに部品のずれ(回転)などが発生してしまいます．それを防止するための開口面積(はんだ量)や形状を工夫する必要があるのです(図5)．さらにこの例では，部品の放熱効果を高めるためにスルー・ホールが打ってあり，そこにはんだが流れ込むため，その流れ込みで失うはんだ量の見極めも必要になってきます．

プリント配線板の設計仕様で「この部品の下は放熱のため，できるだけスルー・ホールを打って内層に接続すること」という文章を見かけますが，はんだがほとんどスルー・

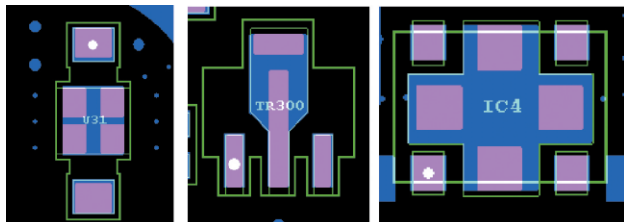



図5　はんだマスク形状のいろいろ
ここではピンク色の箇所にはんだが塗られる．

ホールに流れて，はんだ付けが不十分になっては，放熱うんぬんの話ではなくなってしまいます．従って，このような部品の場合は，必ず実装会社と相談しましょう．

2 部品マウント工程

プリント配線板にクリームはんだの塗布が終わると，次にマウンタで部品をプリント配線板の上に搭載します．写真1にマウンタの外観を示します．

テクニック3 実装ラインが一度に何種類の部品を打てるのかを把握し，部品を選定する

ここで回路設計者が頭に入れておかなければならないことは，実装を依頼する会社の実装ラインが，一度に何種類の部品まで打てるのかということです．図1に示した実装ラインの場合，マウンタは2台入っていることになっていますが，実装ラインにマウンタが何台入っているのかは，メーカによってまちまちです．小型プリント配線板の実装を主流にしている会社はマウンタが1台であったり，大型プリント配線板を主流にしている会社はマウンタが3台以上連なるという場合もあります．

この実装ラインで一度に打てる種類の限度を超えたプリント配線板を実装する場合，マウンタ工程部分を2回繰り返すことになります．通常，一度プリント配線板をラインに投入すればはんだ付けまで一気に終了するところを，途中で流れを止めるわけです．当然，段取り作業などで人手による作業が発生してしまうので，コストやリードタイムに影響が出るなど，品質の面から見ても良いことではありません．特に量産プリント配線板を設計する際には，実装ラインの実力を確認して，その能力内に部品の種類（部品点数ではない）を押さえる必要があります．

写真1　マウンタの外観

3 リフローはんだ付け工程

テクニック4 パッドの形状を実装メーカにチェックしてもらう

パッドの形状（サイズ）は，はんだ付けの良しあしを決める重要な要素です．ほとんどの部品メーカでは，推奨パッドをカタログに載せていますが，推奨パッドで設計しても実装不良はゼロにはなりません．場合によっては，部品の性能を引き出すためだけのパッド形状であって，量産などを考慮していないものもあります．

パッド形状については，回路設計者が検討するには，難しいところもあります．一番良い方法は，プリント配線板設計時に，実装メーカにパッド形状を見てもらうことです．

テクニック5 1608サイズでは通用する配線パターンも1005では通用しない，実装メーカのノウハウを吸収せよ

チップ部品は，片側への引っ張り，チップ立ちを防止するために，なるべく熱が均等にかかるように設計するのが基本です．しかし，高速ディジタル回路やアナログ回路などでは，グラウンドとの接続をなるべく確保したいケースもあるでしょう．

図6は1608サイズのチップ抵抗とコンデンサで構成されたプリント配線板の例です．図中，赤丸で示す部分については，片側がべたグラウンドに太いパターンでつながっており，熱的に見ると均等にはなっていませんが，問題なく実装できます．しかし，これと同じことを1005サイズのチップで行うと，チップずれやチップ立ちが大量に発生し

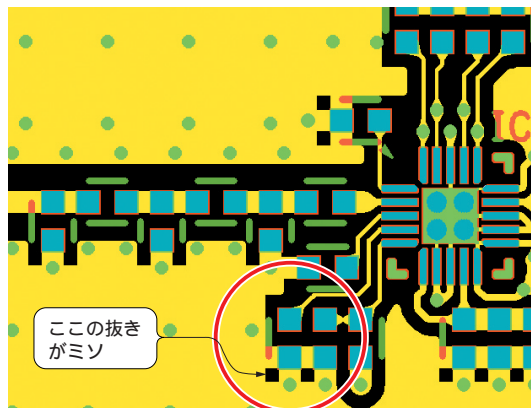



図6　1608サイズのチップ抵抗とコンデンサで構成されたプリント配線板の例
グラウンドに接続する際に，完全に接続していない．これだけで1608サイズのチップ部品は問題なく実装できる．

図7
電源回路の配線パターン設計例
大型部品は同一面に配置すること．

てしまいます．実装メーカでは，さまざまなプリント配線板を製造していますから，「この位までであれば問題は起きない」とか，「こういうパターンだと必ず不良が起きる」という解析データやフィールド・データを持っています．プリント配線板設計の際には，それらのデータの確認が必要です．

テクニック6　配線パターンの出来に目を奪われると，工程が増える，信頼性が落ちる

大容量のコンデンサやコイル，DC-DCコンバータなど，大型の部品も表面実装化が進んでいます．ここで設計上，考慮しておかなければならないことは，部品の実装面です．**図7**に電源回路の配線パターン設計例を示します．中央の大きな部品がDC-DCコンバータで，その上に配置されるコンデンサとコイルが1次側のノイズ・フィルタです．理想的な配線を追求する際には，部品を表裏に配置してパターンを引くと思いますが，以下の点に気を付けてください．

- 大型部品は2回目のリフロー時，はんだ融解によって落下の恐れがある．その場合，接着材で固定する必要があり，1工程増えてしまう．
- コンデンサやモジュール・タイプの部品は，リフロー回数が1回という制限がある品種がある．

ここでは電源回路部だけを例に挙げて説明しましたが，プリント配線板上にBGAパッケージ（以降，BGA）が載っているような場合，この手の大型部品はすべてBGA側に搭載するのが基本です．

4　部品検査，はんだ付け検査工程

リフロー工程が完了すると，この段階でいったん検査工程が入ります．部品検査機では，部品のずれ，極性，方向違い，欠品などを画像認識で検査します．また，はんだ付け検査機では，半導体レーザなどを用いて，未はんだやリード部品の浮き，チップ浮きなどを3次元的に検査します．

テクニック7　BGAや電解コンデンサ，はんだ付け修正を十分に考慮し，部品を配置する

BGAのように，はんだ接合面を外から確認できないような部品については，X線検査装置ではんだ付け状態を検査します．検査結果がNGだった場合，修正する必要がありますが，修正が容易にできる部品配置になっていることが必要です．特に，高額部品が搭載されているようなプリント配線板を設計する場合，「修正できないから捨てる」ということもできません．

図8は背の高い電解コンデンサを並べて配置した例です．例えば図中，「×」マークを付けた部分で，はんだ付け不良がおきた場合，はんだごてを使って修正します．部品の間隔を詰めすぎてしまうと，はんだごてのこて先が部品に邪魔されて，電極部まで届かなくなってしまい，修理できません．従って，少なくともこて先が電極まで届く間隔を空けておく必要があります．

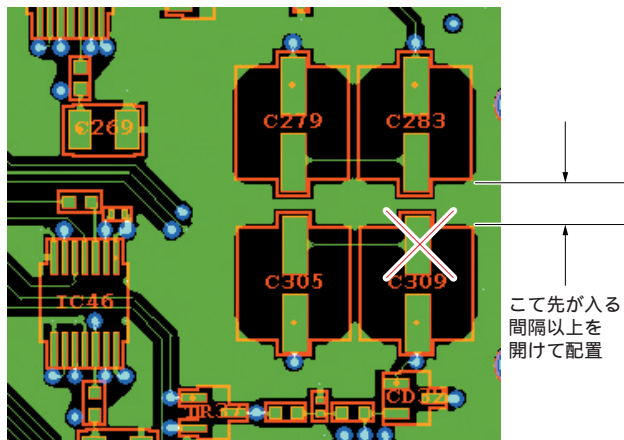



図8　背の高い電解コンデンサを並べて配置したときの例
はんだ付け不良が起きたとき，対応できる間隔を開けて配置すること．

図9　BGAの周辺はリペア用スペースを確保する
周りのチップ部品などは，部品単価や再実装の手間が少ないため，使えなくなっても問題にならない．

テクニック8 リペアの際，部品を再実装する覚悟で，配線パターンの性能を優先することも

BGAの場合，専用のリペア装置を使って部品を外したり再実装したりするので，その分のエリアを確保しておく必要があります．リペア機は簡単にいうとBGA部分に四角い筒をかぶせて上から高温のエアーを吹き付けてはんだを溶かすものなので，筒がかぶさるエリア内にBGA以外の部品を配置しないようにします．

図9の場合，黄色で示した四角が筒のサイズになり，その中にBGA以外の部品が入ってないことを示します．この図のプリント配線板の場合，周りのチップ部品などは使えなくなっても，部品単価や再実装の手間は少ないため，問題になりません．

電子回路的に性能を追求するのであれば，チップの再実装を前提に，配線パターン性能を追求します．ただし，複数のBGAを並べて配置する場合や，近くに高額の部品を配置する場合には，必ずリペア用のスペースを確保します．

5 挿入実装部品取り付け工程

テクニック9 挿入型コネクタはミニソルダによるはんだ付けを考慮して配置する

両面の表面実装が終われば，挿入部品の実装工程に移ります．挿入部品がなければこの工程は不要になるのですが，挿入部品が一つもないプリント配線板というのはまれです．基本は挿入部品なしを目指して設計（部品選定）をするのが一番良いのですが，頻繁に挿き抜しがあるコネクタなど，強度的に挿入部品を選定せざるをえないケースもあるでしょう．

挿入部品点数が少ない場合，技能者が手作業ではんだ付けを済ませてしまいます．しかし，例えば多ピンの挿入コネクタなどがたくさんあるような場合，手ではんだ付けしていたのでは非常に時間がかかってしまいます．このような場合，条件が整っているプリント配線板では，ミニソルダを使ってはんだ付けを実施します（写真2）．そのためには，ミニソルダでの実装を考慮したプリント配線板設計が必要とされます．配線パターンに求められる条件は，

- マスキング処理のためのエリアとして，挿入部品の周囲（3mm程度）には表面実装部品を配置しない．
- 挿入部品はなるべくプリント配線板端に配置する．

などが挙げられます．

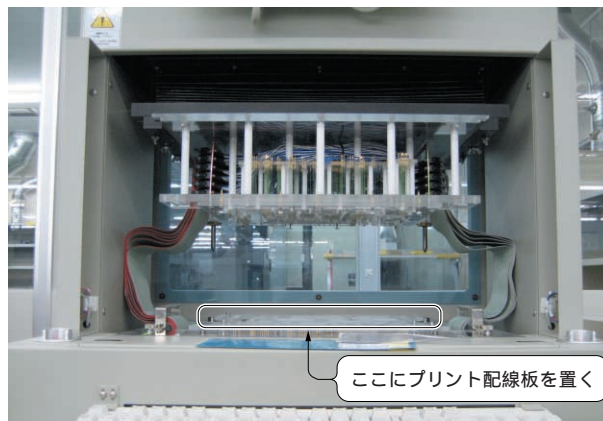
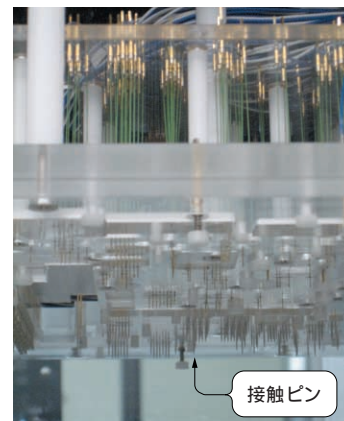
写真2　ミニソルダの外観

(a) 外観

(b) (a)の一部を拡大

写真3
インサーキット・テスタの外観

6 実装テスト工程

テクニック 10 インサーキット・テスタのピン当たり率を考慮する

部品の実装や検査が終了したら，インサーキット・テスタと呼ばれる実装テスト装置で最終的なテストを行います(写真3)．前述の画像的な検査と違い，接触ピンを使って各種電子部品間の抵抗値などを測ってテストするので，部品下ではんだがブリッジしているような，外観からは分からない短絡や，一見問題のないように見えるいもはんだによる未接続などを検出できます．従って，画像認識系の検査装置に比べ，より信頼性の高い検査が可能です．

インサーキット・テスタは，接触ピンを当てて検査するため，接触ピンを当てる部分が必要になります．部品のパッドを流用できるので，意識して設計しなくても検査率はある程度の数字まで上げられますが，100％にはなりません．より検査率の高い検査を求める場合，プリント配線板の設計段階でテスタ用の端子を入れるなどの考慮が必要になってきます．

7 メーカとのつきあい方

テクニック 11 プリント配線板に関わるすべてのメーカの製造効率を考慮した設計を行う

回路設計者自らがPCB CADを操ってプリント配線板設計をすることはまれで，大抵の場合，プリント配線板設計のできる会社に設計を依頼すると思います．ここでどのような会社にプリント配線板設計を依頼しているかによって，回路設計者がどこまで考慮して設計仕様を作成しなければならないかが変わってきます．

例えば配線パターン設計はA社に，プリント配線板そのものの製造はB社に，部品の実装はC社に依頼するような場合，回路設計者は動作的(電気的)に問題がない設計をするための仕様をA社に提出するだけでなく，B社の製造効率，C社の実装効率を考慮した仕様をA社に提示する必要があります．

テクニック 12 信頼できる実装メーカと付き合っていても，最終的な判断は自身で行えるよう，技術を蓄積すべし

配線パターン設計からプリント配線板製造，部品実装まで，一貫して作業ができるD社に配線パターン設計を依頼するという場合もあります．この場合，製造効率や実装効率で問題が発生しそうな個所があれば，D社より指摘，提案などをしてくれるでしょう．

回路設計者は電気的(動作的)に問題のないプリント配線板を設計するための仕様を中心に提示すればよいかもしれません．しかし指摘，提案などに関して討議，判断するためには，やはり製造効率や実装ラインの作業効率を理解しておかないといけません．

さかた・ひでゆき
東芝ディーエムエス(株)
http://www3.toshiba.co.jp/tdms/

4